

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-78595

(43)公開日 平成10年(1998) 3月24日

(51)Int.Cl. ⁹	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 2/02			G 0 2 F 2/02	
	3/00	5 0 1	3/00	5 0 1
H 0 4 B 10/152			H 0 4 B 9/00	L
10/142				
10/04				

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平8-233796

(22)出願日 平成8年(1996) 9月4日

(71)出願人 000001214

国際電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72)発明者 枝川 登

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信電話株式会社内

(72)発明者 鈴木 正敏

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信電話株式会社内

(72)発明者 山本 周

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号国際電信電話株式会社内

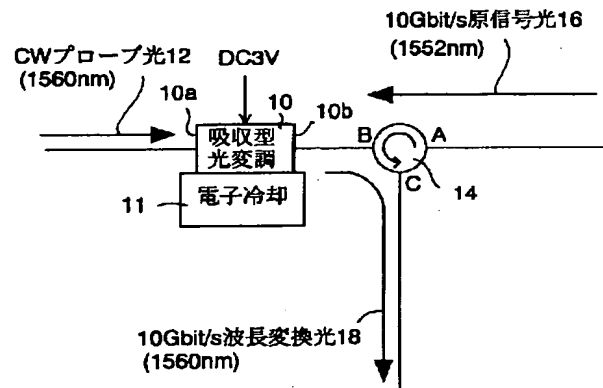
(74)代理人 弁理士 田中 常雄

(54)【発明の名称】 波長変換装置、光演算装置及び光パルス位相検出回路

(57)【要約】

【課題】 波長を変換する。

【解決手段】 フランツケルディッシュ効果を利用した透過型 InGaAsP 電気吸収型光変調器 10 の一方の端面 10a に波長変換のターゲットとなる波長の連続光 (プローブ光) 12 を入射する。光変調器 10 には 3V の一定電圧が印加されている。光サーキュレータ 14 は、その端子 A に入力する原信号光 (波長変換しようとする信号光) 16 を端子 B から光変調器 10 の他端面 10b に入射する。光変調器 10 は、原信号光 16 の強度に応じた損失をプローブ光 12 と与え、その波形を原信号光と実質的に同じものにする。光変調器 10 のにより波長変換され、端面 10b から出力されるプローブ光は、波長変換光 18 として光サーキュレータ 14 の端子 B に入射し、その端子 C から出力される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 原信号光により搬送される情報を、当該原信号光とは異なる波長の光信号に転換する波長変換装置であって、印加電圧により透過吸収特性の変化する吸収型光変調器に所定電圧を印加した状態で、当該吸収型光変調器に原信号光と当該原信号光の波長とは異なる 1 以上の波長のプローブ光とを入射し、当該吸収型光変調器から出力される当該プローブ光を出力光とすることを特徴とする波長変換装置。

【請求項 2】 更に、当該原信号光を当該吸収型光変調器に供給すると共に、当該吸収型光変調器により波形変換されて出力される当該プローブ光を取り出す光方向性結合手段を具備する請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 3】 更に、当該光方向性結合手段と当該吸収型光変調器との間に、少なくとも、当該吸収型光変調器から出力され波形変換された当該プローブ光を増幅する光増幅手段を設けた請求項 2 に記載の波長変換装置。

【請求項 4】 更に、当該吸収型光変調器の温度を調節する温度調節手段を設けた請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 5】 当該吸収型光変調器に印加される当該所定電圧が直流電圧である請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 6】 当該吸収型光変調器に印加される当該所定電圧に信号が重畳されている請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 7】 当該吸収型光変調器に印加される当該所定電圧が、当該原信号光のクロック周波数信号を具備する請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 8】 当該プローブ光が CW 光である請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 9】 当該プローブ光が繰り返し変調光である請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 10】 当該プローブ光がデータ変調光である請求項 1 に記載の波長変換装置。

【請求項 11】 当該吸収型光変調器に印加される当該所定電圧が、当該プローブ光のクロック周波数と同じ周波数の信号成分を具備する請求項 9 又は 10 に記載の波長変換装置。

【請求項 12】 入射光量及び印加電圧に応じて別の入射光の吸収特性が変化する光吸収素子に所定電圧を印加した状態で、原信号光とプローブ光を入射し、当該光吸収素子を透過した当該プローブ光を出力光とすることを特徴とする光演算装置。

【請求項 13】 更に、当該原信号光を当該光吸収素子に供給すると共に、当該光吸収素子により当該原信号光と光演算されて出力される当該プローブ光を取り出す光方向性結合手段を具備する請求項 12 に記載の光演算装置。

【請求項 14】 更に、当該光方向性結合手段と当該光

吸収素子との間に、少なくとも、当該光吸収素子により当該原信号光と光演算されて出力される当該プローブ光を増幅する光増幅手段を設けた請求項 13 に記載の光演算装置。

【請求項 15】 当該光吸収素子が電気吸収型光変調器である請求項 12 乃至 14 の何れか 1 項に記載の光演算装置。

【請求項 16】 当該光吸収素子に印加される当該所定電圧が直流電圧である請求項 15 に記載の光演算装置。

【請求項 17】 当該光吸収素子に印加される当該所定電圧が、当該原信号光のクロック周波数信号を具備する請求項 15 に記載の光演算装置。

【請求項 18】 当該プローブ光が、当該原信号光のクロック周波数の整数分の 1 の周波数の繰り返し変調光である請求項 12 に記載の光演算装置。

【請求項 19】 当該プローブ光の波長が、当該原信号光の波長とは異なる請求項 12 に記載の光演算装置。

【請求項 20】 信号光の光パルス位相を検出する光パルス位相検出回路であって、プローブ光を発生するレーザ光源と、

当該プローブ光の強度を当該信号光の強度に応じて変形する光演算手段と、

当該光演算手段により波形変形された当該プローブ光を検出する受光手段とからなることを特徴とする光パルス位相検出回路

【請求項 21】 当該光演算手段が請求項 9 に記載の波長変換装置である請求項 20 に記載の光パルス位相検出回路。

【請求項 22】 当該光演算手段が請求項 12 に記載の光演算装置である請求項 20 に記載の光パルス位相検出回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長変換装置、光演算装置及び光パルス位相検出回路に関し、より具体的には、光伝送システム又は光通信システムにおいて、光信号の波長を別の波長に変換する波長変換装置、信号光とプローブ光を光演算する光演算装置、及び、光パルス列のパルス位相を検出する光パルス位相検出回路に関する。

【0002】

【従来の技術】 現在、将来の情報化社会を支えるインフラストラクチャとして波長多重光信号による大容量光通信ネットワークの研究が精力的に進められている。その結果、ネットワークのノードで信号波長を変換できれば、ネットワークの性能を飛躍的に向上できることが判明した。

【0003】 そこで、世界の主要な研究機関において実用的な波長変換技術が研究及び検討されている。基本的には、半導体レーザ増幅器の相互利得飽和、四光子混合

又は相互位相変調を利用したり、光ファイバの四光子混合を用いる波長変換装置が提案されている。図 11～図 14 は、従来例の概略構成ブロック図を示す。

【0004】図 11 に示す従来例では、半導体レーザ増幅器の相互利得飽和特性を利用する。半導体レーザ増幅器 110 の一端に、強度変調された波長 λ_1 の信号光と、波長 λ_2 の連続光 (CW) を入力する。半導体レーザ増幅器 110 の相互利得飽和特性により、半導体レーザ増幅器 110 の他端から出力される波長 λ_2 の信号光は、波長 λ_1 の信号光のデータを反転した強度変調データになる。

【0005】図 12 に示す従来例では、2つの半導体レーザ増幅器 112, 114 をカップラ 116, 118, 120 によりマッハツェンダ干渉構成とし、半導体レーザ増幅器 112, 114 の相互位相変調特性を利用する。このマッハツェンダ干渉計に、カップラ 116 により波長 λ_1 のデータ光信号を入力し、カップラ 118 により波長 λ_2 の連続光を入力すると、波長 λ_1 のデータ光信号と同じように強度変調された波長 λ_2 のデータ光信号出力がカップラ 120 から得られる。

【0006】図 13 に示す従来例では、半導体レーザ増幅器の四光子混合を利用する。半導体レーザ増幅器 122 にデータ光信号 (波長 λ_1) とポンプ光を入力すると、四光子混合により、その出力光が、データ光信号 (波長 λ_1) とポンプ光以外に、サテライト光と波長 λ_2 のデータ光信号光を含む。出力光の内の、波長 λ_2 のデータ光信号を変換光とする。

【0007】図 14 では、図 12 の半導体レーザ増幅器 122 の代わりに、光ファイバ 124 (例えば、通常の石英光ファイバ) の非線形性を使用する。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図 11 に示す従来例は、他の従来例に比べ、最も簡便な構成になっているものの、変換光の消光比が十分にとれず、多段の波長変換に適さないという問題点がある。

【0009】また、図 12 に示す従来例では、2 台の半導体レーザ増幅器 112, 114 をマッハツェンダ干渉構成とする必要があり、構成が複雑になる。また、180 度の位相変調を僅かな光パワーで行なえるので、変換光が、原信号光のわずかなパワー変動に敏感に影響されるという問題がある。

【0010】図 13 及び図 14 に示す四光子混合を使用する方式では、以下の問題点がある。即ち、半導体レーザ増幅器 122 を使用する構成 (図 13) では、変換波長帯域が狭く、また、自然放出光による S/N 比の劣化を無視できない。光ファイバ 124 を使用する構成 (図 14) では、光ファイバ 124 を 1 km 以上にする必要があり、装置が大型化する。また、四光子混合では、原理的に原信号光の偏波面とポンプ光の偏波面を一致させる必要があるが、一般に光ファイバを伝送する信号光の

偏波面は時間的に変動するので、この変動を解消する手段を設けなければならない。

【0011】本発明は、これら従来例の問題点を解決し、より簡単な構成で効率的に波長変換できる波長変換装置を提示することを目的とする。

【0012】本発明はまた、より大きな消光比を得られる波長変換装置を提示することを目的とする。

【0013】本発明は更に、信号光とプローブ光を光段階で演算し、光段階で波形整形、雑音抑制及び論理演算等の行なえる光演算装置を提示することを目的とする。

【0014】本発明は更に、信号光により搬送される光パルス列の位相を容易に検出できる光パルス位相検出回路を提示することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明に係る波長変換装置では、印加電圧により透過吸収特性の変化する吸収型光変調器に、原信号光と当該原信号光の波長とは異なる 1 以上の波長のプローブ光とを入射する。吸収型光変調器から出力される当該プローブ光は、原信号光の波形に応じて波形変換されているので、これを出力光とする。これにより、非常に簡単な構成で波長を変換できる。偏波面制御も不要である。

【0016】原信号光を吸収型光変調器に供給すると共に、吸収型光変調器により波形変換されて出力されるプローブ光を取り出す光方向性結合手段を設けることで、原信号光を吸収型光変調器に供給すると、吸収型光変調器により波形変換されて出力されるプローブ光を取り出すのを、1つの光素子で実現でき、これも構成の簡略化に寄与する。

【0017】光方向性結合手段と吸収型光変調器との間に、少なくとも、吸収型光変調器から出力され波形変換されたプローブ光を増幅する光増幅手段を設けることで、仮に、光方向性結合手段で原信号光のクロストークがあっても、波長変換光の信号品質を高く保てる。

【0018】吸収型光変調器の印加電圧を直流電圧とすることで、周辺回路を簡略化出来る。

【0019】吸収型光変調器の印加電圧に信号を重畳することで、波長変換光の、その信号を重畳でき、例えば、種々の制御信号に利用できる。

【0020】プローブ光は、CW 光であればその光源と周辺回路を簡略化できるが、繰り返し変調光とすることで、波形整形機能と雑音抑制機能を持たせることが出来る。プローブ光をデータ変調光とすることで、プローブ光のデータと原信号光のデータを光学的に演算でき、例えば、原信号光から特定部分のデータを抽出できる。

【0021】吸収型光変調器の印加電圧が、原信号光やプローブ光のクロック周波数と同じ周波数の信号成分を具備することで、プローブ光の波形変化をより顕著にでき、波形整形機能と雑音抑制機能を更に高めることができる。

【0022】本発明に係る光演算装置では、入射光量及び印加電圧に応じて吸収特性の変化する光吸収素子に原信号光とプローブ光を入射する。光吸収素子の透過吸収特性が、原信号光の強度に応じて変化するので、光吸収素子から出力されるプローブ光は、原信号光の波形に応じて波形変換されたものになっている。

【0023】原信号光を光吸収素子に供給すると共に、光吸収素子により波形変換されて出力されるプローブ光を取り出す光方向性結合手段を設けることで、原信号光を光吸収素子に供給すると、光吸収素子により波形変換されて出力されるプローブ光を取り出すのを、1つの光素子で実現でき、これも構成の簡略化に寄与する。

【0024】光方向性結合手段と光吸収素子との間に、少なくとも、光吸収素子から出力され波形変換された当該プローブ光を増幅する光増幅手段を設けることで、仮に、光方向性結合手段で原信号光のクロストークがあっても、波形整形した光信号の信号品質を高く保てる。

【0025】プローブ光を、原信号光のクロック周波数の整数分の1の周波数とすることで、原信号光の信号波形を持った光信号、又は、所定の間隔で原信号光をサンプリングした光信号を得ることが出来る。時分割多重光信号を、光のまま時間軸上で分離できることになる。

【0026】プローブ光の波長を原信号光の波長と異なるものにすることで、同時に波長を変換できる。

【0027】本発明に係る光パルス位相検出回路は、信号光の光パルス位相を検出する光パルス位相検出回路であって、プローブ光を発生するレーザ光源と、当該プローブ光の強度を当該信号光の強度に応じて変形する光演算手段と、当該光演算手段により波形変形された当該プローブ光を検出する受光手段とからなることを特徴とする。当該光演算手段により光の段階で信号光の信号の位相を検出できるので、例えば、光PLL回路の構成を簡略化できる。光演算手段は例えば、上述の波長変換装置又は波形変換装置である。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0029】図1は、本発明の第1実施例の概略構成ブロック図を示す。10は、フランツケルディッシュ効果を利用した導波透過型InGaAsP電気吸収型光変調器であり、一方の端面10aに波長変換のターゲットとなる波長の連続光（プローブ光）12が入力する。本実施例では、光変調器10には3Vの一定電圧が印加されている。光変調器10は、ピエゾ素子などを使用した電子冷却装置11上に載置され、所望の温度に調節できるようになっている。

【0030】14は端子Aに入力した光を端子Bから出力し、端子Bに入力した光を端子Cから出力する光サーキュレータであり、その端子Aに原信号光（波長変換しようとする信号光）16が入力する。光変調器10の他

端面10bは光サーキュレータ14の端子Bに接続する。後述するように、光サーキュレータ14の端子Cからの出力光が、波長変換された波長変換光18になる。

【0031】本実施例では、原信号光16は、10Gb/sでRZ変調（マーク率1/2）された波長1,552nmの信号光であり、プローブ光12は、波長1,560nmの連続光である。後述する理由により、変換光18は、その波長が1,560nmで、原信号光16と同じデータ・パターンを具備する信号光、即ち、10Gb/sでRZ変調（マーク率1/2）された信号光になっている。

【0032】本発明の発明者は、電気吸収型光変調器に異なる2つの波長の光を入力したとき、相互吸収飽和特性を示すことを発見した。図2は、導波透過型InGaAsP電気吸収型光変調器の一端に1,555nm光を入射し、他端に1,560nmを入射した場合で、1,555nm光のパワーを変化させたとき、1,560nm光の吸収損失がどのように変化するかを実験した実験結果である。1,560nm光のパワーは光変調器の入力において4dBmである。光変調器への印加電圧が3Vのとき、波長1,555nmの光パワーを増加させると、波長1,560nmの光の吸収損失が13dB以上、減少する。このような吸収損失特性により、1,555nm光が、強度変調された光信号であれば、光変調器を通過した1,560nm光は、1,555nm光と同じデータ・パターンで強度変調された光信号になる。

【0033】一般に、吸収型光変調器内で吸収に伴って生成される電子・正孔対の量は、入射する光が強くなるほど、多くなる。この電子・正孔対は、外部印加電界を打ち消すように内部電界を形成し、光入射レベルが大きくなるとその内部電界が大きくなるので、光入射レベルにより吸収係数を大きく変化させることができる。換言すると、通常の利用法では、変調された印加電圧を吸収型光変調器の駆動源としている代わりに、本実施例では、光変調信号を駆動源としたものと見ることが出来る。

【0034】本実施例では、電気吸収型光変調器のこのような相互吸収飽和特性を利用して、波長を変換する。なお、図2では、1,555nmから1,560nmに5nmシフトさせているのに対し、図1に示す実施例では、1,552nmから1,560nmに8nmシフトさせている。信号光の波長が1,555nmと1,552nmとで原理的な相違は無く、図2の特性変化を図1に示す実施例でも同様に享受できる。

【0035】本実施例の動作を説明する。原信号光16は光サーキュレータ14の端子A及び端子Bを介して光変調器10の端面10bに入射し、光変調器10の端面10aにはプローブ光12が入射する。光変調器10への平均入力パワーは、1,552nm光（原信号光16）が11dBm、1,560nm光（プローブ光1

2) が12dBmである。先に述べたように、光変調器10には3Vの一定電圧が印加されている。光変調器10内で、プローブ光12と原信号光16が互いに逆方向に進行する間に、図2で説明したように、プローブ光12が原信号光16の強度変化と同じに変化する減衰を受ける。即ち、原信号光16のデータ信号は、プローブ光12の波長に波長変換される。その波長変換されたプローブ光、即ち、波長変換光18は、光サーキュレータ14の端子Bに入力する。光サーキュレータ14は端子Bに入力した光を端子Cから出力する光素子であるので、波長1,560nmの変換光18は、端子Cから出力される。このようにして、10Gbit/sでRZ変調(マーク率1/2)された信号光の波長を1,552nmから波長1,560nmに変換できた。

【0036】図3は実際の波長変換結果の波形図を示す。図3(1)は原信号光16の波形パターン、同(2)は変換光18の波形パターンを示す。約10psの超短光パルス波形の1,552nm光(原信号光16)のデータ・パターンが、波長1,560nmの変換光18にほぼ忠実にコピーされていることが分かる。十分な消光比も得られている。

【0037】本実施例では、フランツケルディッシュ効果を利用した導波型InGaAsP電気吸収型光変調器を用いたが、光変調器に印加される電圧によって光変調器内部に形成される電界を用いて、吸収により光変調器内に生成される電子及び/又は正孔を熱的な拡散よりも速く外部回路に強制的に排出する機能を具備する吸収型光変調器であれば、本発明に利用できる。例えば、半導体の多重量子井戸(MQW)の量子シュタルク効果を用いる導波型MQW光変調器でもよい。

【0038】また、プローブ光12を光変調器10に入力する経路に光サーキュレータを設けることにより、光変調器10を透過した原信号光16を取り出すことが出来ることは明らかである。

【0039】本実施例では、プローブ光12を1波長としたが、複数波長の連続光とすることで、複数の波長に波長変換できることを実験により確認した。波長変換光18は、プローブ光12に含まれる各波長光で、原信号光16と同じデータ・パターンを具備する光信号を波長多重したものになっている。全ての波長について良好な波形を得ることが出来た。

【0040】本実施例では、プローブ光12と原信号光16を光変調器10内で逆方向に進行させている。これらを同方向に進行させた場合、一応、類似の波長変換を達成できるが、吸収型光変調器の特性により波長変換光にパターン効果が現われ、図3に示すような良好な波形を得るのが難しい。本実施例では、透過型電気吸収型光変調器を用いたが、例えば、片端面を高反射にした反射型電気吸収光変調器を使用し、その内部で原信号光とプローブ光の進行方向が逆方向になるような構成でも、原

信号光とプローブ光の相互吸収飽和特性により同様の効果を得ることができる。

【0041】このように、本実施例では、通常の電気吸収型光変調器をそのまま利用できるのも、基本的には複雑な構造を有する素子又は特殊な半導体結晶を使用しなくて済む。この結果、簡便、高品質、高信頼性で低価格の波長変換装置や光演算装置を提示できる。本実施例ではまた、入射した原信号光が一度、電子・正孔対に変換され、その光強度情報のみが波長変換光に転換されるので、原信号光の有する光位相歪みが波長変換光に変換されないという利点がある。

【0042】原信号光16を光変調器10の端面10bに入射すると共に、端面10bから出射されるデータ変調後のプローブ光を取り出すのに、光サーキュレータ14を使用した。同様の機能をWDMカップラや3dBカップラのようなその他の合分波器でも実現できる。即ち、外部からの原信号光16を光変調器10の端面10bに入射すると共に、端面10bから出力される波長変換光18を、原信号光16とは分離して取り出せる光素子であればよい。

【0043】また、光変調器10の印加電圧をDC電圧としたが、印加電圧に信号を重畳することにより、変換光18にシステム監視用信号などを重畳できるし、後述するようにサンプリング機能、波形整形機能及び雑音抑制機能を持たせることが出来る。特に、印加電圧に原信号光16のクロック周波数と同じ周波数で繰り返す信号を重畳すると、その信号により光変調器10の吸収特性が変化するので、波長変換光18の消光比を更に改善できる。

【0044】一般に、電気吸収型光変調器の吸収波長特性は、光変調器の温度を変更することで制御できる。従って、図1に示す実施例でも、必要に応じて電子冷却装置11により光変調器10の温度を変更することで、広い波長範囲にわたって良好な波長変換特性を実現できる。

【0045】図4は、図1に示す実施例の変更実施例の概略構成ブロック図を示す。光変調器10と光サーキュレータ14との間に、2つの光サーキュレータ20、22と光増幅器24を挿入し、光変調器10においてデータ変調されたプローブ光12の出力光を選択的に増幅できるようにしたものである。

【0046】即ち、光変調器10の端面10bは光サーキュレータ20の端子Bに接続し、光サーキュレータ20の端子Cは光増幅器24の入力に接続する。光増幅器24の出力は光サーキュレータ14の端子Aに接続し、光サーキュレータ22の端子Bは光サーキュレータ14の端子Bに接続し、光サーキュレータ22の端子Cは光サーキュレータ20の端子Aに接続する。

【0047】原信号光16は、光サーキュレータ14の端子Aに入力してその端子Bから光サーキュレータ22

の端子Bに入力し、光サーキュレータ22の端子Cから光サーキュレータ20の端子Aに入力し、光サーキュレータ20の端子Bから光変調器10の端面10bに入力する。光変調器10の端面10aには、図1に示す実施例と同様に連続光であるプローブ光12が入力している。図1に示す実施例と同様に、光変調器10は、端面10bから入力する原信号光16に従った減衰をプローブ光12に与え、これにより、原信号光16の強度変化と同じ強度変化を持ったプローブ光12、即ち波長変換光18を、端面10bから光サーキュレータ20の端子Bに出力する。

【0048】光サーキュレータ20の端子Bに入力した波長変換光18は、その端子Cから光増幅器24に印加され、そこで光増幅されて、光サーキュレータ22の端子Aに入力する。光サーキュレータ22の端子Aに入力する光は、その端子Bから光サーキュレータ14の端子Bに入力され、光サーキュレータ14の端子Cから出力される。

【0049】このようにして、図4に示す変更実施例では、光変調器12において波長変換された波長変換光18が、光増幅器24により光増幅された後、出力される。

【0050】例えば、図1に示す実施例では、光サーキュレータ14で、端子Aに入力する原信号光16が端子Cに漏れ出す場合、光サーキュレータ14の端子Cの出力光から波長変換光18のみを光フィルタにより取り出す必要があるが、図4に示す変更実施例では、端子Aに入力する原信号光16が光サーキュレータ14の端子Cに漏洩したとしても、波長変換光18が光増幅器24により増幅されているので、光サーキュレータ14の端子Cからの出力光から原信号光16の成分を除去しなくても、クロストークによる波長変換光18の信号品質劣化を低減できる。

【0051】図4に示す変更実施例では、波長変換光18のみを光増幅器24により光増幅したが、光サーキュレータ22の端子Cと光サーキュレータ20の端子Aとの間にも光増幅器を設け、原信号光16を適宜に光増幅してもよいことは勿論である。

【0052】図1及び図4に示す実施例において、プローブ光12はCW光でなければならないわけではない。例えば、プローブ光12が変調されている場合、波長変換光18の波形は、原信号光16の波形によりプローブ光12を強度変調した波形になる。即ち、波長変換光18の波形は、原信号光16の波形とプローブ光12の波形を乗算（論理積）したものに相当する波形になる。

【0053】例えば、図5に示すように、プローブ光12が繰り返し周波数 f_1 でRZ変調された光とすると、波長変換光18の波形は、原信号光16を繰り返し周波数 f_1 でサンプリングしたものになる。原信号光16に雑音光が含まれていても、波長変換光18では、原信号

光16の雑音光レベルは大幅に抑圧される。即ち、波形整形機能と雑音抑制機能を、光段階で実現できる。これも、吸収型光変調器10では、図2に示すように、原信号光の光パワーに対する吸収損失の変化が十分に大きいからである。

【0054】光変調器10の印加電圧をプローブ光12のようにパルス電圧としても、同様に、原信号光16をサンプリングし、波形整形し、雑音を抑制できるが、プローブ光12を変調した方が、一般に効果が大きく、プローブ光の入力パワーを大きくすることにより出力パワーを大きく出来る上、原信号光の有する光位相歪みも除去できるので、利用しやすい。

【0055】図5では、原信号光16がクロック周波数 f_0 の強度変調光であるとしたとき、波長変換光18の波形は、 f_0 と f_1 の関係により、図6、図7及び図8のようになる。図6は、 $f_0 = f_1$ の場合、図7は $f_0 < f_1$ の場合、図8はプローブ光12の繰り返し周波数 f_1 が原信号光16のクロック周波数 f_0 の半分、即ち、 $f_1 = f_0 / 2$ になっている場合の一例のタイミング図を示す。図6、図7及び図8の何れも、(1)はプローブ光12、(2)は原信号光16、(3)は波長変換光18の各波形を示す。

【0056】図6に示す $f_0 = f_1$ の場合、プローブ光12の光変調器10への入射タイミングと、原信号光16の光変調器10への入射タイミングとの関係により、波長変換光18の波形が変化する。従って、波長変換光18の波形、具体的には平均強度（又はピーク強度）により、波長変換光18の平均強度が最大になるようにプローブ光12の光変調器10への入射タイミングを調節することで、プローブ光12の光変調器10への入射タイミングを、原信号光16の光変調器10への入射タイミングに追従して同期させることができる。また、 f_0 と f_1 が一致しない場合（図7及び図8）、波長変換光18の波形は、いわば f_0 と f_1 の差周波数で強度変調されたものになる。これらから、波長変換光18の平均レベルを検出し、その検出結果が最大になるようにプローブ光12の変調周波数を制御することで、光PLL（位相ロック・ループ）回路を形成できる。

【0057】図9は、図1に示す実施例を利用して形成した光PLL回路の概略構成ブロック図を示す。図1と同じ構成要素には同じ符号を付してある。受光素子30は波長変換光18を電気信号に変換し、積分回路32は受光素子30の出力を積分又は平滑化する。電圧制御発振器34は積分回路32の出力電圧に応じた周波数で発振し、その出力はレーザ駆動回路36に印加される。レーザ駆動回路36は半導体レーザ38を、発振器34の出力周波数で半導体レーザ38を駆動（例えば、パルス駆動又は正弦波変調駆動）して、所望の波形のレーザ光を出力させる。半導体レーザ38の出力光がプローブ光12として光変調器10に印加される。

【0058】なお、光変調器10を透過して端面10aから出力される原信号光16が、半導体レーザ38に入射して悪影響を与えないように、半導体レーザ38と光変調器10の端面10aとの間に、必要により、光変調器10の端面10aから出力される原信号光16を吸収する光アイソレータ40を設ける。同様の見地から、受光素子30の直前にも、波長変換光18以外の波長光を除去又は抑圧する光フィルタを配置するのが好ましい。

【0059】受信回路42は、電圧制御発振器34の出力クロックに従って、受光素子30の出力信号からデータ

を復調する。
【0060】原信号光16が光ファイバ伝送路等を長距離伝送したものの場合、雑音光が累積しており、従来は、電気段で除去するようにされている。図9（又は図5）の場合、プローブ光12が原信号光16のクロック周波数 f_1 と同じ周波数でRZ変調された光である場合で、原信号光16に完全に同期していると、波長変換光18は、原信号光16により搬送されるデータ信号を復元し、しかも累積雑音を抑圧したものになる。即ち、波長変換光18の個々のパルス波形は、プローブ光12の個々のパルス波形に依存するからである。図9に示す実施例は、波形整形機能と雑音抑制機能を同時に併せ持つことになる。

【0061】図5乃至図8では、プローブ光12を繰り返しRZ信号としたが、光PLLのためには、2乗余弦波形、又は、データ変調されたRZ若しくはNRZ変調光等の任意の変調波形を有するものであってもよいことは明らかである。

【0062】図5では、プローブ光12の繰り返し周波数 f_1 が原信号光16のクロック周波数 f_0 の整数分の1の場合、波長変換光18の波形は、原信号光16を時間軸で分離したものになる。即ち、時間軸多重光信号を、光信号のまま時間軸上で分離できることになる。図2に示すように、電気吸収型光変調器10は、印加電圧により吸収特性が変化する。印加電圧が低いと、プローブ光の吸収損失が原信号光のパワー変化に対して比較的平坦になるが、印加電圧が高くなると、プローブ光の吸収損失が原信号光のパワー変化に対して急峻になる。ここから、光変調器10の印加電圧を、プローブ光12の繰り返し周波数に同期して変更することで、時間軸多重光信号の時間軸分離機能をより高めることができる。具体的には、雑音を更に大幅に抑制できる。

【0063】例えば、図10に示すように、プローブ光12を、原信号光16のクロック周波数 f_0 の半分の周波数でRZ変調した光とし（即ち、 $f_1 = f_0/2$ ）、同時に、光変調器10の印加電圧を周波数（ $f_0/2$ ）の正弦波電圧とする。勿論、光変調器10の印加電圧とプローブ光12の周波数 $f_0/2$ を同期させる。光変調器10の印加電圧は、プローブ光12の強度が高レベルであるときに、低電圧であるようにする。これにより、

波長変換光18の波形は、原信号光16をその1/2の周波数でサンプリングし、且つ、雑音光を大幅に抑圧したのになっている。

【0064】このように、光変調器10の印加電圧を、プローブ光12の変調周波数に同期して変動させることで雑音を抑制する機能は、 $f_1 = f_0$ の場合（図6）にも適用できることは明らかである。また、本実施例では、印加電圧を正弦波としたが、所望の効果をを得るために、2乗余弦波やRZパルス波形など、任意の変調波形を印加電圧に重畳又は付加してもよいことは明らかである。

【0065】図5乃至図10を参照した説明から分かるように、本実施例によれば、波長変換だけでなく、波形整形と雑音抑制も同時に実現できる。光クロス・コネクタする場合にも、本実施例を適用できる。

【0066】

【発明の効果】以上の説明から容易に理解できるように、本発明によれば、非常に簡単な構成で波長を変換でき、しかも、大きな消光比を得ることができる。原理的には、吸収型光変調器への印加電圧を最適化することにより、原信号光の消光比より大きな消光比を得ることができる。偏波面制御が不要であるので、構造が非常に簡単になる。

【0067】また、プローブ光又は吸収型光変調器への印加電圧により波長変換光の波形を制御でき、雑音を除去でき、更には、原信号光の光位相歪みを除去できるので、信号品質を改善できる。

【0068】このような結果、経済的で高性能な波長変換装置、波形変換装置及び光PLL回路を提供でき、光伝送システムの進歩に大きく寄与できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例の概略構成ブロック図である。

【図2】 導波型電気吸収型光変調器の吸収損失特性図である。

【図3】 本実施例の波長変換結果の波形図である。

【図4】 本発明の変更実施例の概略構成ブロック図である。

【図5】 プローブ光12を繰り返し周波数 f_1 でRZ変調したときの本実施例の利用例である。

【図6】 原信号光16のクロック周波数 f_0 が f_1 に等しい場合の波形図である。

【図7】 $f_0 < f_1$ の場合の波形図である。

【図8】 $f_1 = f_0/2$ の場合の波形図である。

【図9】 図1に示す実施例を利用して形成した光PLL回路の概略構成ブロック図である。

【図10】 光変調器10の印加電圧を変調して雑音抑圧機能を高めた利用例である。

【図11】 半導体レーザ増幅器の相互利得飽和特性を利用する従来の波長変換装置の概略説明図である。

【図12】 半導体レーザ増幅器の相互位相変調特性を利用する従来の波長変換装置の概略説明図である。

【図13】 半導体レーザ増幅器の四光子混合を利用する従来の波長変換装置の概略説明図である。

【図14】 光ファイバの四光子混合を利用する従来の波長変換装置の概略説明図である。

【符号の説明】

10：導波型InGaAsP電気吸収型光変調器

10a, 10b：光変調器10の端面

11：電子冷却装置

12：プローブ光

14：光サーキュレータ

16：原信号光

18：波長変換光

20, 22：光サーキュレータ

24：光増幅器

30：受光素子

32：積分回路

34：電圧制御発振器

36：レーザ駆動回路

38：半導体レーザ

40：光アイソレータ

42：受信回路

10 110：半導体レーザ増幅器

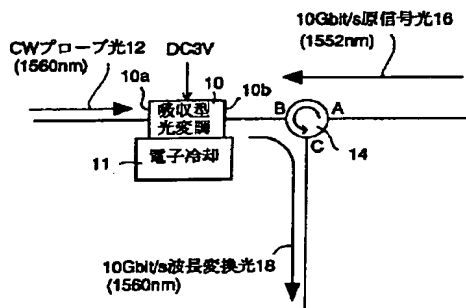
112, 114：半導体レーザ増幅器

116, 118, 120：カップラ

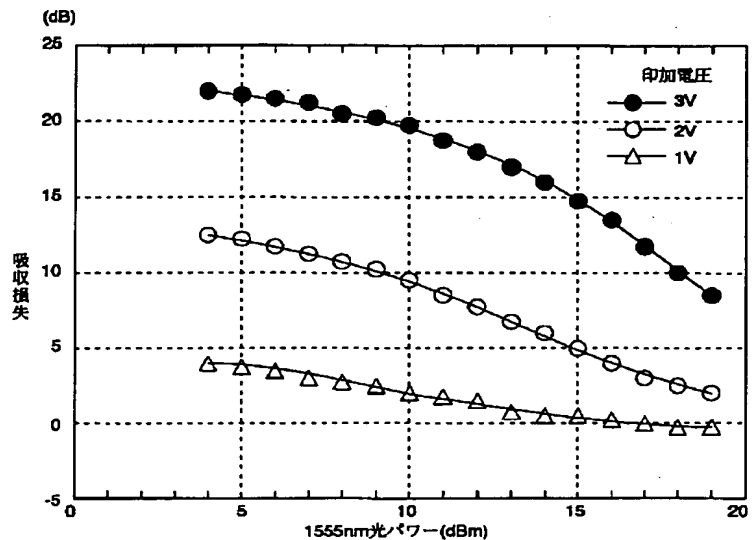
122：半導体レーザ増幅器

124：光ファイバ

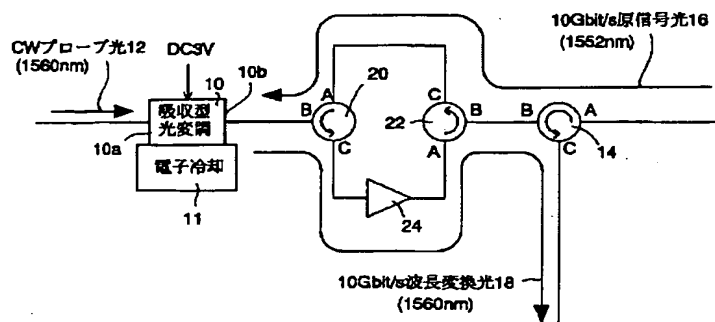
【図1】



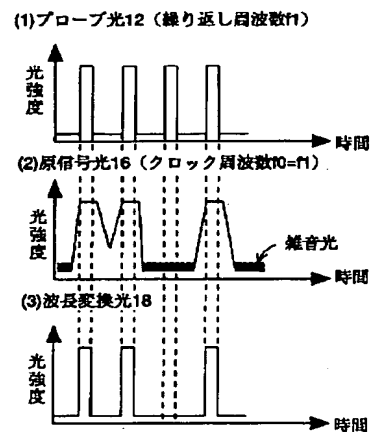
【図2】



【図4】

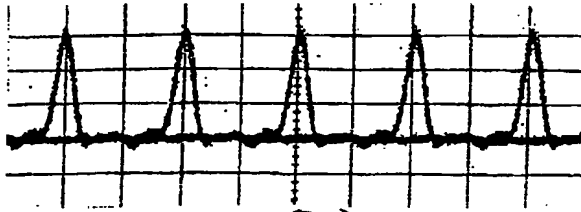


【図6】

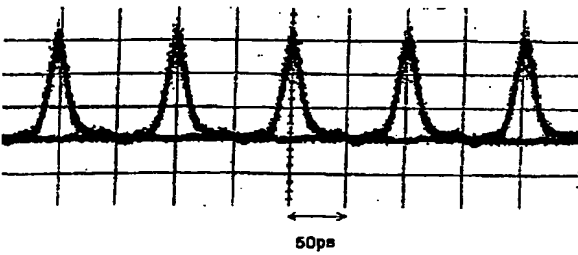


【図3】

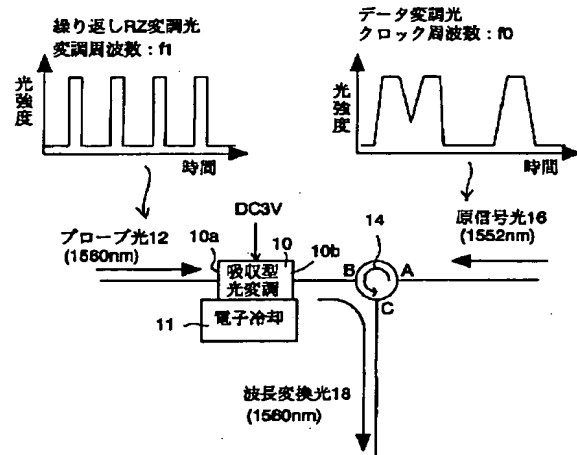
(1) 原信号光16



(2) 波長変換光18

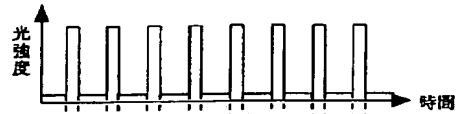


【図5】



【図7】

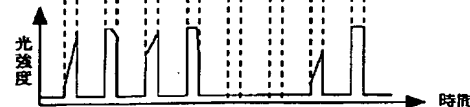
(1) プローブ光12 (繰り返し周波数f1)



(2) 原信号光16 (クロック周波数f0 < f1)

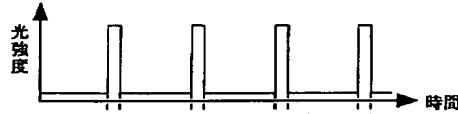


(3) 波長変換光18



【図8】

(1) プローブ光12 (繰り返し周波数f1)



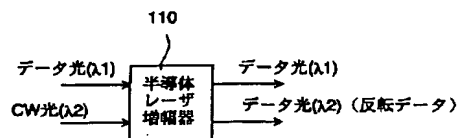
(2) 原信号光16 (クロック周波数f0 = 2f1)



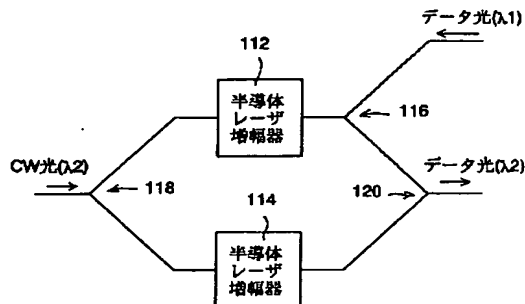
(3) 波長変換光18



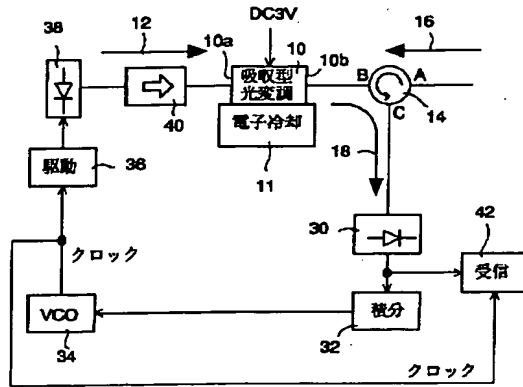
【図11】



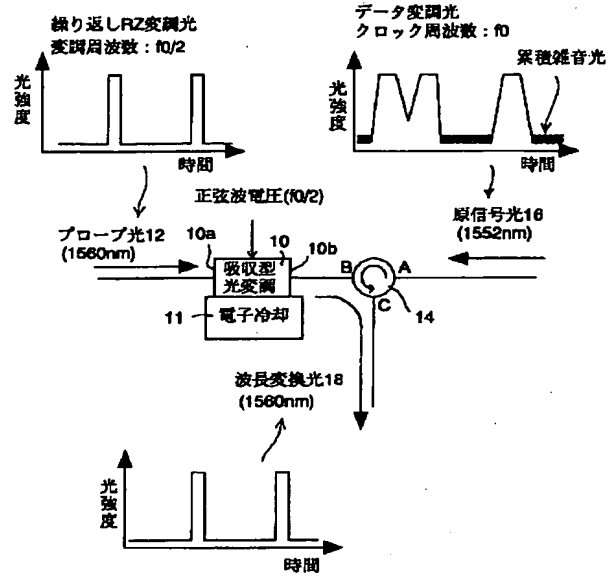
【図12】



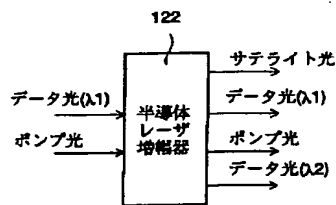
【図9】



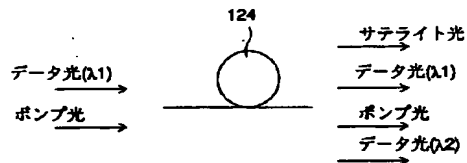
【図10】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁶

H04B 10/06

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-078595

(43)Date of publication of application : 24.03.1998

(51)Int.Cl.

G02F 2/02
 G02F 3/00
 H04B 10/152
 H04B 10/142
 H04B 10/04
 H04B 10/06

(21)Application number : 08-233796

(71)Applicant : KOKUSAI DENSIN DENWA CO LTD
<KDD>

(22)Date of filing : 04.09.1996

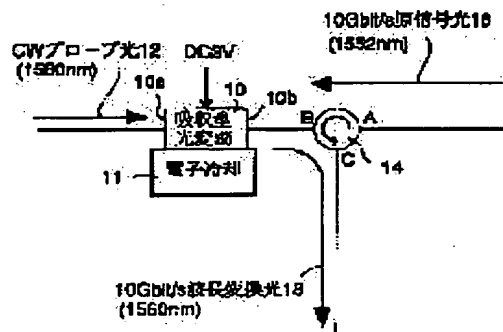
(72)Inventor : EDAKAWA NOBORU
SUZUKI MASATOSHI
YAMAMOTO SHU

(54) WAVELENGTH CONVERTER, OPTICAL COMPUTER AND OPTICAL PULSE PHASE DETECTING CIRCUIT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the wavelength converter which efficiently converts a wavelength employing a simple constitution.

SOLUTION: Continuous light beams (probe light beams) 12 having the wavelength, which becomes the target of a wavelength conversion, are made incident on one of end faces 10a of a transmission type InGaAsP electric absorbing optical modulator 10 that utilizes a Franz-Keldysh effect. A constant voltage of 3V is applied to the modulator 10. Original signal light beams 16 (the signal light beams whose wavelength is to be converted) which are inputted to a terminal A of an optical circulator 14 are made incident on other end face 10b of the modulator 10 from a terminal B. The modulator 10 gives the loss corresponding to the strength of the beams 16 to the probe light beams 12 and the waveforms of the beams 12 are practically made same as the beams 16. The beams 16, which are waveform converted by the modulator 10 and outputted from the face 10b, are made incident on the terminal B of the circulator 14 as wavelength converted light beams 18 and outputted from a terminal C.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

16.08.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or

application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3458613

[Date of registration]

08.08.2003

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] It is in the condition which impressed the predetermined electrical potential difference to the absorption mold optical modulator from which it is the wavelength inverter which converts the information conveyed by original signal light into the lightwave signal of wavelength with which the original signal light concerned differs, and a transparency absorption property changes with applied voltage. The wavelength inverter characterized by carrying out incidence of the probe light of one or more different wavelength from the wavelength of original signal light and the original signal light concerned to the absorption mold optical modulator concerned, and making into output light the probe light concerned outputted from the absorption mold optical modulator concerned.

[Claim 2] Furthermore, the wavelength inverter possessing the optical directivity coupling means which takes out the probe light concerned which conversion of waveform is carried out with the absorption mold optical modulator concerned, and is outputted while supplying the original signal light concerned to the absorption mold optical modulator concerned according to claim 1.

[Claim 3] Furthermore, the wavelength inverter according to claim 2 which was outputted from the absorption mold optical modulator concerned, and established at least an optical amplification means to amplify the probe light concerned by which conversion of waveform was carried out, between the optical directivity coupling means concerned and the absorption mold optical modulator concerned.

[Claim 4] Furthermore, the wavelength inverter according to claim 1 which established a temperature control means to adjust the temperature of the absorption mold optical modulator concerned.

[Claim 5] The wavelength inverter according to claim 1 whose predetermined electrical potential difference concerned impressed to the absorption mold optical modulator concerned is direct current voltage.

[Claim 6] The wavelength inverter according to claim 1 with which the predetermined electrical potential difference concerned impressed to the absorption mold optical modulator concerned is overlapped on the signal.

[Claim 7] The wavelength inverter according to claim 1 with which the predetermined electrical potential difference concerned impressed to the absorption mold optical modulator concerned possesses the clock frequency signal of the original signal light concerned.

[Claim 8] The wavelength inverter according to claim 1 whose probe light concerned is CW light.

[Claim 9] The wavelength inverter according to claim 1 whose probe light concerned is modulation light repeatedly.

[Claim 10] The wavelength inverter according to claim 1 whose probe light concerned is data modulation light.

[Claim 11] The wavelength inverter according to claim 9 or 10 with which the predetermined electrical potential difference concerned impressed to the absorption mold optical modulator concerned possesses the signal component of the same frequency as the clock frequency of the probe light concerned.

[Claim 12] Optical operation equipment which carries out incidence of original signal light and the probe light, and is characterized by making into output light the probe light concerned which penetrated the optical absorption component concerned where a predetermined electrical potential difference is impressed to the optical absorption component from which the absorption property of another incident light changes according to the amount of incident light, and applied voltage.

[Claim 13] Furthermore, optical operation equipment possessing the optical directivity coupling means which takes out the probe light concerned in which optical operation is carried out to the original signal light concerned by the optical absorption component concerned, and which is outputted while supplying the original signal light concerned to the optical absorption component concerned according to claim 12.

[Claim 14] Furthermore, optical operation equipment according to claim 13 which established an optical amplification means to amplify the probe light concerned in which optical operation is carried out to the original signal light concerned by the optical absorption component concerned at least, and which is outputted between optical directivity coupling means and the optical absorption components concerned.

[Claim 15] Optical operation equipment given in claim 12 whose optical absorption component concerned is an electric absorption mold optical modulator thru/or any 1 term of 14.

[Claim 16] Optical operation equipment according to claim 15 whose predetermined electrical potential difference concerned impressed to the optical absorption component concerned is direct current voltage.

[Claim 17] Optical operation equipment according to claim 15 with which the predetermined electrical potential difference concerned impressed to the optical absorption component concerned possesses the clock frequency signal of the original signal light concerned.

[Claim 18] Optical operation equipment according to claim 12 whose probe light concerned is the repeat modulation light of the frequency of 1 for an integer of the clock frequency of the original signal light concerned.

[Claim 19] Optical operation equipment according to claim 12 with which the wavelength of the probe light concerned differs from the wavelength of the original signal light concerned.

[Claim 20] The light pulse phase detector which is a light pulse phase detector which detects the light pulse phase of signal light, and is characterized by consisting of the laser light source which generates probe light, an optical operation means which transforms the probe luminous intensity concerned according to the signal luminous intensity concerned, and a light-receiving means to detect the probe light concerned by which wave deformation was carried out with the optical operation means concerned.

[claim 21] The light pulse phase detector according to claim 20 whose optical operation means concerned is a wavelength inverter according to claim 9.

[Claim 22] The light pulse phase detector according to claim 20 whose optical operation means concerned is optical operation equipment according to claim 12.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] More specifically, this invention relates to the light pulse phase detector which detects the wavelength inverter which changes the wavelength of a lightwave signal into another wavelength, the optical operation equipment which carries out optical operation of signal light and the probe light, and the pulse phase of a light pulse train in a lightwave transmission system or an optical transmission system about a wavelength inverter, optical operation equipment, and a light pulse phase detector.

[0002]

[Description of the Prior Art] Research of the mass optical-communication network by the wavelength multiplexing lightwave signal is energetically advanced as an infrastructure supporting current and a future information society. Consequently, when signal wave length was convertible by the network node, it became clear that the network engine performance could be improved by leaps and bounds.

[0003] Then, it sets to the main research facilities in the world, and the practical wavelength conversion technique is studied and examined. Fundamentally, the mutual gain saturation of a semiconductor laser amplifier, 4 photon mixing, or a mutual phase modulation is used, or the wavelength inverter which uses 4 photon mixing of an optical fiber is proposed. Drawing 11 - drawing 14 show outline configuration block drawing of the conventional example.

[0004] In the conventional example shown in drawing 11, the mutual gain saturation characteristics of a semiconductor laser amplifier are used. The signal light of the wavelength λ_1 by which intensity modulation was carried out, and the continuation light (CW) of wavelength λ_2 are inputted into the end of a semiconductor laser amplifier 110. With the mutual gain saturation characteristics of a semiconductor laser amplifier 110, the signal light of the wavelength λ_2 outputted from the other end of a semiconductor laser amplifier 110 becomes intensity modulation data which reversed the data of the signal light of wavelength λ_1 .

[0005] In the conventional example shown in drawing 12, two semiconductor laser amplifiers 112, 114 are considered as a Mach Zehnder interference configuration with a coupler 116, 118, 120, and the mutual phase modulation property of a semiconductor laser amplifier 112, 114 is used. If the data lightwave signal of wavelength λ_1 is inputted into this Mach-Zehnder interferometer with a coupler 116 and the continuation light of wavelength λ_2 is inputted into it with a coupler 118, the data lightwave signal output of wavelength λ_2 by which intensity modulation was carried out like the data lightwave signal of wavelength λ_1 will be obtained from a coupler 120.

[0006] In the conventional example shown in drawing 13, 4 photon mixing of a

semiconductor laser amplifier is used. When a data lightwave signal (wavelength λ_1) and pump light are inputted into a semiconductor laser amplifier 122, the output light contains satellite light and the data lightwave signal light of wavelength λ_2 by 4 photon mixing in addition to a data lightwave signal (wavelength λ_1) and pump light. Let the data lightwave signal of wavelength λ_2 of the output light be conversion light.

[0007] In drawing 14, the nonlinearity of an optical fiber 124 (for example, usual silica optical fiber) is used instead of the semiconductor laser amplifier 122 of drawing 12.

[0008]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, although the conventional example shown in drawing 11 has simplest composition compared with other conventional examples, it cannot fully take the extinction ratio of conversion light, but has the trouble of not being suitable for multistage wavelength conversion.

[0009] Moreover, it is necessary to consider two sets of semiconductor laser amplifiers 112, 114 as a Mach TSUENDA interference configuration, and a configuration becomes complicated in the conventional example shown in drawing 12. Moreover, since 180 phase modulations can be performed by slight optical power, there is a problem that conversion light is sensitively influenced in slight power fluctuation of original signal light.

[0010] There are the following troubles by the method which uses 4 photon mixing shown in drawing 13 and drawing 14. That is, with the configuration (drawing 13) which uses a semiconductor laser amplifier 122, a conversion wavelength band is narrow and cannot disregard degradation of the S/N ratio by spontaneous emission light. It is necessary to set an optical fiber 124 to 1km or more, and equipment is enlarged with the configuration (drawing 14) which uses an optical fiber 124. Moreover, in 4 photon mixing, although it is necessary to make in agreement theoretically the plane of polarization of original signal light, and the plane of polarization of pump light, since the plane of polarization of the signal light which generally transmits an optical fiber is changed in time, a means to cancel this fluctuation must be established.

[0011] This invention solves the trouble of these conventional example, and aims at showing the wavelength inverter which can carry out wavelength conversion efficiently with a easier configuration.

[0012] This invention aims at showing the wavelength inverter which can obtain an again more big extinction ratio.

[0013] Further, this invention calculates signal light and probe light in an optical phase, and aims at showing the optical operation equipment which can be performed, such as waveform shaping, noise control, and logical operation, in an optical phase.

[0014] This invention aims at showing the light pulse phase detector which can detect easily further the phase of the light pulse train conveyed by signal light.

[0015]

[Means for Solving the Problem] In the wavelength inverter concerning this invention, incidence of the probe light of one or more different wavelength from the wavelength of original signal light and the original signal light concerned is carried out to the absorption mold optical modulator from which a transparency absorption property changes with applied voltage. Since conversion of waveform of the probe light concerned outputted from an absorption mold optical modulator is carried out according to the wave of original signal light, it makes this output light. Wavelength is convertible with a thereby very easy configuration. Plane-of-polarization control is also unnecessary.

[0016] By establishing the optical directivity coupling means which takes out the

probe light which conversion of waveform is carried out with an absorption mold optical modulator, and is outputted, while supplying original signal light to an absorption mold optical modulator, it can realize supplying original signal light to an absorption mold optical modulator, and taking out the probe light which conversion of waveform is carried out with an absorption mold optical modulator, and is outputted by one light corpuscle child, and this also contributes to simplification of a configuration.

[0017] Between an optical directivity coupling means and an absorption mold optical modulator, at least, it is outputted from an absorption mold optical modulator, and by establishing an optical amplification means to amplify the probe light by which conversion of waveform was carried out, even if there is a cross talk of original signal light by the optical directivity coupling means, the signal quality of wavelength conversion light can be kept high.

[0018] A circumference circuit can be simplified by making applied voltage of an absorption mold optical modulator into direct current voltage.

[0019] By superimposing a signal on the applied voltage of an absorption mold optical modulator, the signal of wavelength conversion light can be superimposed, for example, it can use for various control signals.

[0020] Although probe light can simplify the light source and circumference circuit if it is CW light, it is considering as repeat modulation light, and can give a waveform-shaping function and a noise control function. By making probe light into data modulation light, the data of probe light and the data of original signal light can be calculated optically, for example, the data of a particular part can be extracted from original signal light.

[0021] By providing the signal component of the same frequency as the clock frequency of original signal light or probe light, the applied voltage of an absorption mold optical modulator can make changing wave shape of probe light more remarkable, and can raise a waveform-shaping function and a noise control function further.

[0022] With the optical operation equipment concerning this invention, incidence of original signal light and the probe light is carried out to the optical absorption component from which an absorption property changes according to the amount of incident light, and applied voltage. Since it changed according to the HARASHIN number luminous intensity, the transparency absorption property of an optical absorption component had carried out conversion of waveform of the probe light outputted from an optical absorption component according to the wave of original signal light.

[0023] By establishing the optical directivity coupling means which takes out the probe light in which conversion of waveform is carried out by the optical absorption component, and which is outputted, while supplying original signal light to an optical absorption component, it can realize supplying original signal light to an optical absorption component, and taking out the probe light in which conversion of waveform is carried out by the optical absorption component and which is outputted by one light corpuscle child, and this also contributes to simplification of a configuration.

[0024] Between an optical directivity coupling means and an optical absorption component, at least, it is outputted from an optical absorption component, and by establishing an optical amplification means to amplify the probe light concerned by which conversion of waveform was carried out, even if there is a cross talk of original signal light by the optical directivity coupling means, the signal quality of the lightwave signal which shaped in waveform can be kept high.

[0025] A lightwave signal with the signal wave form of original signal light or the

lightwave signal which sampled original signal light at the predetermined spacing can be acquired by making probe light into the frequency of 1 for an integer of the clock frequency of original signal light. A Time-Division-Multiplexing lightwave signal can be separated on a time-axis with light.

[0026] By making wavelength of probe light into a different thing from the wavelength of original signal light, wavelength is simultaneously convertible.

[0027] The light pulse phase detector concerning this invention is a light pulse phase detector which detects the light pulse phase of signal light, and is characterized by consisting of the laser light source which generates probe light, an optical operation means which transforms the probe luminous intensity concerned according to the signal luminous intensity concerned, and a light-receiving means to detect the probe light concerned by which wave deformation was carried out with the optical operation means concerned. Since the phase of the signal of signal light is detectable in the phase of light with the optical operation means concerned, the configuration of an optical PLL circuit can be simplified, for example. An optical operation means is an above-mentioned wavelength inverter or an above-mentioned wave inverter.

[0028]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the gestalt of operation of this invention is explained to a detail with reference to a drawing.

[0029] Drawing 1 shows outline configuration block drawing of the 1st example of this invention. 10 is a waveguide transparency mold InGaAsP electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator using an Franz-Keldish effect, and the continuation light (probe light) 12 of the wavelength which serves as a target of wavelength conversion at one end-face 10a inputs it. In this example, the fixed electrical potential difference of 3V is impressed to the optical modulator 10. An optical modulator 10 is laid on the thermoelectric-cooling equipment 11 which used the piezo-electric element etc., and can be adjusted now to desired temperature.

[0030] 14 is an optical circulator which outputs the light inputted into Terminal A from Terminal B, and outputs the light inputted into Terminal B from Terminal C, and the original signal light (signal light which is going to carry out wavelength conversion) 16 inputs it into the terminal A. Other end side 10b of an optical modulator 10 is connected to the terminal B of an optical circulator 14. The output light from the terminal C of an optical circulator 14 turns into the wavelength conversion light 18 by which wavelength conversion was carried out so that it may mention later.

[0031] In this example, the original signal light 16 is signal light with a wavelength of 1,552nm by which RZ modulation (mark rates 1/2) was carried out by 10 Gbit/s, and the probe light 12 is continuation light with a wavelength of 1,560nm. For the reason mentioned later, the conversion light 18 has turned into the signal light in which the wavelength is 1,560nm and possesses the same data pattern as the original signal light 16, i.e., the signal light by which RZ modulation (mark rates 1/2) was carried out by 10 Gbit/s.

[0032] The artificer of this invention discovered that mutual absorption saturation characteristics were shown, when the light of two wavelength which is different in an electric absorption mold optical modulator was inputted. Drawing 2 is the experimental result which experimented in how 1,560nm absorption-of-light loss changes, when changing the power of 1,555nm light by the case where carried out incidence of the 1,555nm light to the end of a waveguide transparency mold InGaAsP electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator, and incidence of the 1,560nm is carried out to the other end. The power of 1,560nm light is 4dBm in the input of an optical modulator. If optical power with a wavelength of 1,555nm is made to increase when the applied voltage to an optical modulator is 3V, absorption-of-light loss with a wavelength of 1,560nm will decrease by 13dB or more. With such

an absorption loss property, if 1,555nm light is the lightwave signal by which intensity modulation was carried out, 1,560nm light which passed the optical modulator will become the lightwave signal by which intensity modulation was carried out with the same data pattern as 1,555nm light.

[0033] Generally, the amount of an electron and an electron hole pair generated with absorption within an absorption mold optical modulator increases, so that the light which carries out incidence becomes strong. Since that internal field will become large if an internal field is formed so that external impression electric field may be negated, and optical incidence level becomes large, this electron and electron hole pair can change an absorption coefficient a lot with optical incidence level. If it puts in another way, according to the usual directions, it can be concluded by this example that the light modulation signal was made into the driving source instead of making modulated applied voltage into the driving source of an absorption mold optical modulator.

[0034] In this example, wavelength is changed using such mutual absorption saturation characteristics of an electric absorption mold optical modulator. In addition, in the example shown in drawing 1 to shifting 5nm to 1,560nm from 1,555nm by drawing 2, 8nm is shifted to 1,560nm from 1,552nm. 1,555nm and a difference theoretic at 1,552nm do not have the wavelength of signal light, and it can enjoy them similarly in the example which shows property change of drawing 2 to drawing 1.

[0035] Actuation of this example is explained. Incidence of the original signal light 16 is carried out to end-face 10b of an optical modulator 10 through Terminal A and Terminal B of an optical circulator 14, and the probe light 12 carries out incidence to end-face 10a of an optical modulator 10. 1,552nm light (original signal light 16) is [11dBm and 1,560nm light (probe light 12) of the average input control power to an optical modulator 10] 12dBm. As stated previously, the fixed electrical potential difference of 3V is impressed to the optical modulator 10. Within an optical modulator 10, while the probe light 12 and the original signal light 16 advance to hard flow mutually, as drawing 2 explained, the probe light 12 receives the attenuation which changes similarly to a change of the original signal light 16 on the strength. That is, wavelength conversion of the data signal of the original signal light 16 is carried out at the wavelength of the probe light 12. The probe light 18 by which wavelength conversion was carried out, i.e., wavelength conversion light, is inputted into the terminal B of an optical circulator 14. Since an optical circulator 14 is a light corpuscle child who outputs the light inputted into Terminal B from Terminal C, the conversion light 18 with a wavelength of 1,560nm is outputted from Terminal C. Thus, the wavelength of the signal light by which RZ modulation (mark rates 1/2) was carried out by 10 Gbit/s was convertible for the wavelength of 1,560nm from 1,552nm.

[0036] Drawing 3 shows the wave form chart of a actual wavelength conversion result. Drawing 3 (1) shows the wave pattern of the original signal light 16, and ** (2) shows the wave pattern of the conversion light 18. It turns out that the data pattern of 1,552nm light of an ultrashort light pulse wave of about 10 ps(es) (original signal light 16) is copied in the conversion light 18 with a wavelength of 1,560nm almost faithfully. Sufficient extinction ratio is also obtained.

[0037] Although the waveguide mold InGaAsP electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator using an Franz-Keldish effect was used in this example, if it is an absorption mold optical modulator possessing the function which discharges compulsorily [it is quicker than thermal diffusion and] the electron and/or electron hole which are generated by absorption in an optical modulator to an external circuit using the electric field formed in the interior of an optical modulator of

the electrical potential difference impressed to an optical modulator, it can use for this invention. For example, the waveguide mold MQW optical modulator using the quantum Stark effect of the multiplex quantum well (MQW) of a semi-conductor may be used.

[0038] Moreover, it is clear that the original signal light 16 which penetrated the optical modulator 10 can be taken out by preparing an optical circulator in the path which inputs the probe light 12 into an optical modulator 10.

[0039] Although probe light 12 was made into one wave, at this example, it checked by experiment that wavelength conversion could be carried out on two or more wavelength by considering as two or more waves of continuation light. The wavelength conversion light 18 is each wavelength light contained in the probe light 12, and has become what carried out wavelength multiplexing of the lightwave signal possessing the same data pattern as the original signal light 16. The wave good about all wavelength was able to be acquired.

[0040] In this example, the probe light 12 and original signal light 16 are advanced to hard flow within an optical modulator 10. When advancing these in this direction, although similar wavelength conversion can be attained, it is difficult once to acquire a good wave as the pattern effectiveness shown up in wavelength conversion light with the property of an absorption mold optical modulator and shown in drawing 3. In this example, although the transparency mold electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator was used, for example, the reflective mold electrical-and-electric-equipment absorption optical modulator which made the piece end face the high echo can be used, and a configuration in which the travelling direction of original signal light and probe light turns into hard flow in the interior can also acquire the same effectiveness with the mutual absorption saturation characteristics of original signal light and probe light.

[0041] Thus, in this example, since the usual electric absorption mold optical modulator can be used as it is, it is not necessary to use the component or the special semiconducting crystal which has complicated structure fundamentally. Consequently, the wavelength inverter and optical operation equipment of a low price can be shown with simplicity, high quality, and high-reliability. In this example, since the original signal light which carried out incidence is once changed into an electron and an electron hole pair and only the information on the strength [optical] is converted into wavelength conversion light, there is an advantage that an optical phase distortion which original signal light has is not changed into wavelength conversion light again.

[0042] Although the probe light after the data modulation by which outgoing radiation is carried out is taken out from end-face 10b and the optical circulator 14 was used while carrying out incidence of the original signal light 16 to end-face 10b of an optical modulator 10, the same function is realizable with the multi/demultiplexer of others like a WDM coupler or 3dB coupler. Namely, while carrying out incidence of the original signal light 16 from the outside to end-face 10b of an optical modulator 10, what is necessary is just the light corpuscle child who separates the wavelength conversion light 18 outputted from end-face 10b in the original signal light 16, and can take out.

[0043] Moreover, although applied voltage of an optical modulator 10 was made into DC electrical potential difference, by superimposing a signal on applied voltage, the signal for system monitoring etc. can be superimposed on the conversion light 18, and a sampling function, a waveform-shaping function, and a noise control function can be given so that it may mention later. Especially, if the clock frequency of the original signal light 16 and the signal repeated on the same frequency are superimposed on applied voltage, since the absorption property of an optical

modulator 10 will change with the signals to it, the extinction ratio of the wavelength conversion light 18 is further improvable to it.

[0044] Generally, the absorption wavelength property of an electric absorption mold optical modulator is controllable by changing the temperature of an optical modulator. Therefore, the good wavelength transfer characteristic is realizable over the large wavelength range with the example shown in drawing 1 by changing the temperature of an optical modulator 10 with thermoelectric-cooling equipment 11 if needed.

[0045] Drawing 4 shows outline configuration block drawing of the modification example of the example shown in drawing 1. Between an optical modulator 10 and an optical circulator 14, two optical circulators 20 and 22 and light amplifiers 24 are inserted, and it enables it to amplify selectively the output light of the probe light 12 by which the data modulation was carried out in the optical modulator 10.

[0046] That is, end-face 10b of an optical modulator 10 is connected to the terminal B of an optical circulator 20, and the terminal C of an optical circulator 20 is connected to the input of a light amplifier 24. The output of a light amplifier 24 is connected to the terminal A of an optical circulator 14, it connects with the terminal B of an optical circulator 14, and the terminal B of an optical circulator 22 connects the terminal C of an optical circulator 22 to the terminal A of an optical circulator 20.

[0047] The original signal light 16 is inputted into the terminal A of an optical circulator 14, is inputted into the terminal B of an optical circulator 22 from the terminal B, is inputted into the terminal A of an optical circulator 20 from the terminal C of an optical circulator 22, and is inputted into end-face 10b of an optical modulator 10 from the terminal B of an optical circulator 20. The probe light 12 which is continuation light like the example shown in drawing 1 has inputted into end-face 10a of an optical modulator 10. Like the example shown in drawing 1, an optical modulator 10 gives attenuation according to the original signal light 16 inputted from end-face 10b to the probe light 12, and outputs the probe light 12 18 which had the same change on the strength as a change of the original signal light 16 on the strength by this, i.e., wavelength conversion light, from end-face 10b to the terminal B of an optical circulator 20.

[0048] The wavelength conversion light 18 inputted into the terminal B of an optical circulator 20 is impressed to a light amplifier 24 from the terminal C, and optical amplification is carried out there, and it is inputted into the terminal A of an optical circulator 22. The light inputted into the terminal A of an optical circulator 22 is inputted into the terminal B of an optical circulator 14 from the terminal B, and is outputted from the terminal C of an optical circulator 14.

[0049] Thus, in the modification example shown in drawing 4, after optical amplification of the wavelength conversion light 18 by which wavelength conversion was carried out in the optical modulator 12 is carried out by the light amplifier 24, it is outputted.

[0050] For example, although it is necessary to take out only the wavelength conversion light 18 from the output light of the terminal C of an optical circulator 14 with an optical filter in the example shown in drawing 1 when the original signal light 16 inputted into Terminal A begins to leak to Terminal C by the optical circulator 14. Since the wavelength conversion light 18 is amplified by the light amplifier 24 even if the original signal light 16 inputted into Terminal A is revealed to the terminal C of an optical circulator 14 in the modification example shown in drawing 4 Even if it does not remove the component of output light to the original signal light 16 from the terminal C of an optical circulator 14, signal quality degradation of the wavelength conversion light 18 by the cross talk can be reduced.

[0051] Although optical amplification only of the wavelength conversion light 18 was carried out with the light amplifier 24 in the modification example shown in drawing 4,

a light amplifier may be formed also between the terminal C of an optical circulator 22, and the terminal A of an optical circulator 20, and, of course, optical amplification of the original signal light 16 may be carried out suitably.

[0052] In the example shown in drawing 1 and drawing 4, the probe light 12 must not necessarily be CW light. For example, when the probe light 12 is modulated, the wave of the wavelength conversion light 18 turns into a wave which carried out intensity modulation of the probe light 12 by the wave of the original signal light 16. That is, the wave of the wavelength conversion light 18 turns into a wave equivalent to what carried out the multiplication (AND) of the wave of the original signal light 16, and the wave of the probe light 12.

[0053] For example, if the probe light 12 considers as the light by which RZ modulation was repeatedly carried out on the frequency f_1 as shown in drawing 5, the wave of the wavelength conversion light 18 will become what repeated the original signal light 16 and was sampled on the frequency f_1 . Even if noise light is contained in the original signal light 16, with the wavelength conversion light 18, the noise light level of the original signal light 16 is oppressed substantially. That is, a waveform-shaping function and a noise control function are realizable in an optical phase. This is also because change of the absorption loss over the optical power of original signal light is fully large as shown in drawing 2 in the absorption mold optical modulator 10.

[0054] Although the original signal light 16 is similarly sampled as a pulse voltage, the applied voltage of an optical modulator 10 is shaped in waveform like the probe light 12 and a noise can be controlled, when output power can be enlarged by it being [effectiveness] larger to modulate the probe light 12 generally, and enlarging input control power of probe light, since an optical phase distortion which original signal light has is also removable, it is easy to use.

[0055] In drawing 5, when the original signal light 16 is on-the-strength strange modulated light of a clock frequency f_0 , the wave of the wavelength conversion light 18 becomes like drawing 6, drawing 7, and drawing 8 with the relation between f_0 and f_1 . In the case of $f_0=f_1$, drawing 6 shows the timing chart of an example when, as for drawing 8, the repeat frequency f_1 of the probe light 12 has become [in drawing 7] half [half / of the clock frequency f_0 of the original signal light 16], $f_1=f_0/2$, in the case of $f_0<f_1$. [i.e.,] The probe light 12 and (2) show the original signal light 16, and, as for (1), both drawing 6 drawing 7 and drawing 8 show each wave of the wavelength conversion light 18, as for (3).

[0056] In the case of $f_0=f_1$ shown in drawing 6, the wave of the wavelength conversion light 18 changes with the relation between the incidence timing to the optical modulator 10 of the probe light 12, and the incidence timing to the optical modulator 10 of the original signal light 16. Therefore, with average reinforcement (or peak intensity), by the wave of the wavelength conversion light 18, and adjusting the incidence timing to the optical modulator 10 of the probe light 12 so that the average reinforcement of the wavelength conversion light 18 may become max, the incidence timing to the optical modulator 10 of the probe light 12 can be followed, and can specifically be synchronized with the incidence timing to the optical modulator 10 of the original signal light 16. Moreover, when f_0 and f_1 were not in agreement (drawing 7 and drawing 8), so to speak, intensity modulation of the wave of the wavelength conversion light 18 was carried out with the difference frequency of f_0 and f_1 . An optical PLL (phase locked loop) circuit can be formed by controlling the modulation frequency of the probe light 12 so that the average level of the wavelength conversion light 18 is detected and the detection result becomes max from these.

[0057] Drawing 9 shows outline configuration block drawing of the optical PLL circuit formed using the example shown in drawing 1. The same sign is given to the same

component as drawing 1 . A photo detector 30 changes the wavelength conversion light 18 into an electrical signal, and an integrating circuit 32 integrates with or graduates the output of a photo detector 30. A voltage controlled oscillator 34 is oscillated on the frequency according to the output voltage of an integrating circuit 32, and the output is impressed to the laser actuation circuit 36. The laser actuation circuit 36 drives semiconductor laser 38 for semiconductor laser 38 with the output frequency of an oscillator 34 (for example, pulse actuation or sinusoidal modulation actuation), and makes a desired wave-like laser beam output. The output light of semiconductor laser 38 is impressed to an optical modulator 10 as a probe light 12. [0058] In addition, the optical isolator 40 which absorbs the original signal light 16 outputted from end-face 10a of an optical modulator 10 as occasion demands is formed between semiconductor laser 38 and end-face 10a of an optical modulator 10 so that the original signal light 16 which penetrates an optical modulator 10 and is outputted from end-face 10a may carry out incidence to semiconductor laser 38 and may not have an adverse effect. It is desirable to arrange the optical filter which also removes or oppresses wavelength light other than wavelength conversion light 18 just before a photo detector 30 from the same standpoint.

[0059] A receiving circuit 42 recovers data from the output signal of a photo detector 30 according to the output clock of a voltage controlled oscillator 34.

[0060] Noise light has accumulated and he is trying to be conventionally removed in an electric stage in the case of that to which the original signal light 16 transmitted the optical-fiber-transmission way etc. over long distances. If it synchronizes with the original signal light 16 thoroughly by the case where it is the light by which RZ modulation of the probe light 12 was carried out on the same frequency as the clock frequency f_1 of the original signal light 16 in the case of drawing 9 (or drawing 5 $R > 5$), the wavelength conversion light 18 will restore the data signal conveyed by the original signal light 16, and will become what moreover oppressed the accumulation noise. That is, each pulse shape of the wavelength conversion light 18 is because it is dependent on each pulse shape of the probe light 12. The example shown in drawing 9 will have a waveform-shaping function and a noise control function simultaneously.

[0061] Although the probe light 12 was repeated and being considered as RZ signal in drawing 5 thru/or drawing 8 , for Light PLL, it is clear that you may be what has the modulated wave form of arbitration, such as a square cosine wave, RZ by which the data modulation was carried out, or NRZ modulation light.

[0062] In drawing 5 , when the repeat frequency f_1 of the probe light 12 is 1 for an integer of the clock frequency f_0 of the original signal light 16, the wave of the wavelength conversion light 18 becomes what separated the original signal light 16 on the time-axis. That is, a time-axis multiplex lightwave signal can be separated on a time-axis with a lightwave signal. As shown in drawing 2 , as for the electric absorption mold optical modulator 10, an absorption property changes with applied voltage. If applied voltage is low, probe absorption-of-light loss will become comparatively flat to power change of original signal light, but if applied voltage becomes high, probe absorption-of-light loss will become steep to power change of original signal light. From here, the time-axis isolation of a time-axis multiplex lightwave signal can be raised more by changing the applied voltage of an optical modulator 10 synchronizing with the repeat frequency of the probe light 12. Specifically, a noise can be controlled still more nearly substantially.

[0063] For example, as shown in drawing 10 , make probe light 12 into the light which carried out RZ modulation on the frequency of the one half of the clock frequency f_0 of the original signal light 16 (namely, $f_1 = f_0/2$), and let applied voltage of an optical modulator 10 simultaneously be the sinusoidal voltage of a frequency ($f_0/2$). Of course, frequency $f_0/2$ of the applied voltage of an optical modulator 10

and the probe light 12 are synchronized. When the reinforcement of the probe light 12 is a high level, it is made for the applied voltage of an optical modulator 10 to be a low battery. Thereby, the wave of the wavelength conversion light 18 is what sampled the original signal light 16 on the frequency of $1/2$, and oppressed noise light substantially.

[0064] Thus, the function which controls a noise by fluctuating the applied voltage of an optical modulator 10 synchronizing with the modulation frequency of the probe light 12 that it is applicable also in the case of $f_1=f_0$ (drawing 6) is clear. Moreover, in this example, although applied voltage was made into the sine wave, in order to acquire desired effectiveness, it is clear that modulated wave forms of arbitration, such as a square cosine wave and RZ pulse shape, may be superimposed or added to applied voltage.

[0065] According to this example, not only wavelength conversion but waveform shaping and noise control are simultaneously realizable so that the explanation which referred to drawing 5 thru/or drawing 10 may show. This example can be applied, also when it light-crosses and connects.

[0066]

[Effect of the Invention] According to this invention, wavelength can be changed with a very easy configuration and, moreover, a big extinction ratio can be obtained so that he can understand easily from the above explanation. Theoretically, a bigger extinction ratio than the extinction ratio of original signal light can also be obtained by optimizing the applied voltage to an absorption mold optical modulator. Since plane-polarization control is unnecessary, structure becomes very easy.

[0067] Moreover, since the wave of wavelength conversion light can be controlled by applied voltage to probe light or an absorption mold optical modulator, a noise can be removed and an optical phase distortion of original signal light can be removed further, a signal quality is improvable.

[0068] Such a result, an economical and highly efficient wavelength inverter, a wave inverter, and an optical PLL circuit can be offered, and it can contribute to the advance of a lightwave transmission system greatly.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is outline configuration block drawing of one example of this invention.

[Drawing 2] It is absorption loss property drawing of a waveguide mold electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator.

[Drawing 3] It is the wave form chart of the wavelength conversion result of this example.

[Drawing 4] It is outline configuration block drawing of the modification example of this invention.

[Drawing 5] It is the example of utilization of this example when repeating the probe light 12 and carrying out RZ modulation on a frequency f_1 .

[Drawing 6] It is a wave form chart when the clock frequency f_0 of the original signal light 16 is equal to f_1 .

[Drawing 7] It is a wave form chart in $f_0 < f_1$.

[Drawing 8] It is a wave form chart in $f_1 = f_0/2$.

[Drawing 9] It is outline configuration block drawing of the optical PLL circuit formed using the example shown in drawing 1.

[Drawing 10] It is the example of utilization which modulated the applied voltage of an optical modulator 10 and raised the noise suppression function.

[Drawing 11] It is approximate account drawing of the conventional wavelength inverter using the mutual gain saturation characteristics of a semiconductor laser amplifier.

[Drawing 12] It is approximate account drawing of the conventional wavelength inverter using the mutual phase modulation property of a semiconductor laser amplifier.

[Drawing 13] It is approximate account drawing of the conventional wavelength inverter using 4 photon mixing of a semiconductor laser amplifier.

[Drawing 14] It is approximate account drawing of the conventional wavelength inverter using 4 photon mixing of an optical fiber.

[Description of Notations]

10: Waveguide mold InGaAsP electrical-and-electric-equipment absorption mold optical modulator

10a, 10b: The end face of an optical modulator 10

11: Thermoelectric-cooling equipment

12: Probe light

14: Optical circulator

16: Original signal light

18: Wavelength conversion light

20 22: Optical circulator

24: Light amplifier

30: Photo detector
32: Integrating circuit
34: Voltage controlled oscillator
36: Laser actuation circuit
38: Semiconductor laser
40: Optical isolator
42: Receiving circuit
110: Semiconductor laser amplifier
112,114: Semiconductor laser amplifier
116,118,120: Coupler
122: Semiconductor laser amplifier
124: Optical fiber

[Translation done.]

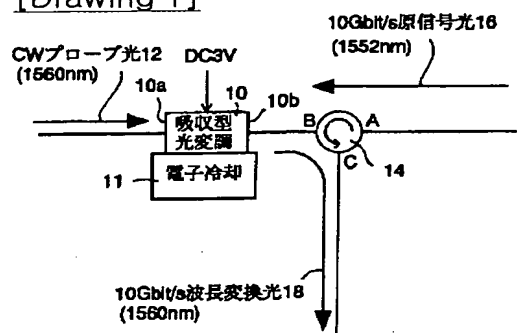
* NOTICES *

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

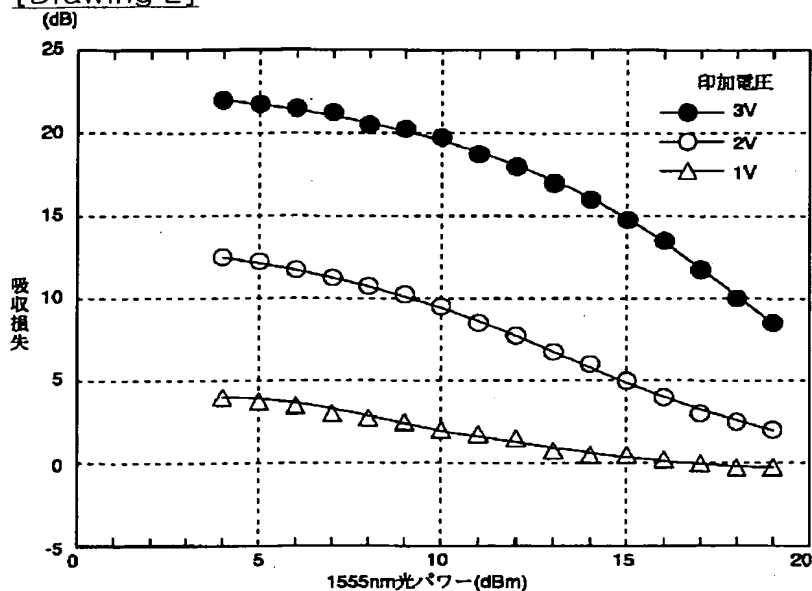
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

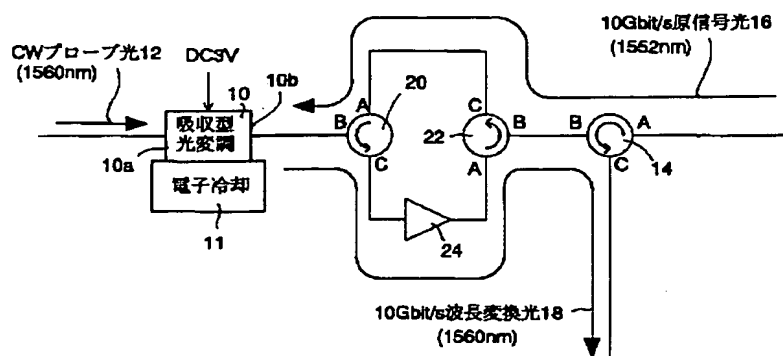
[Drawing 1]



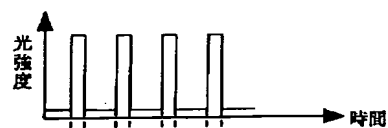
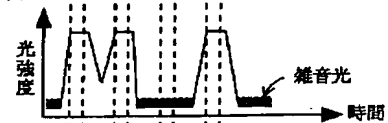
[Drawing 2]



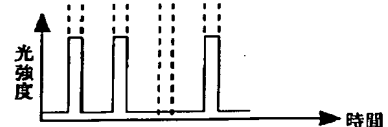
[Drawing 4]



[Drawing 6]

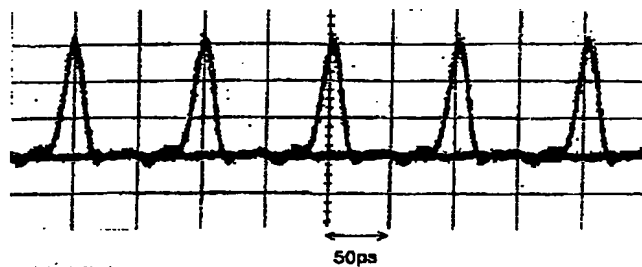
(1)プローブ光12 (繰り返し周波数 f_1)(2)原信号光16 (クロック周波数 $f_0=f_1$)

(3)波長変換光18

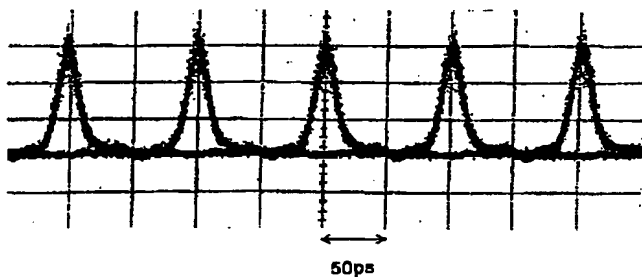


[Drawing 3]

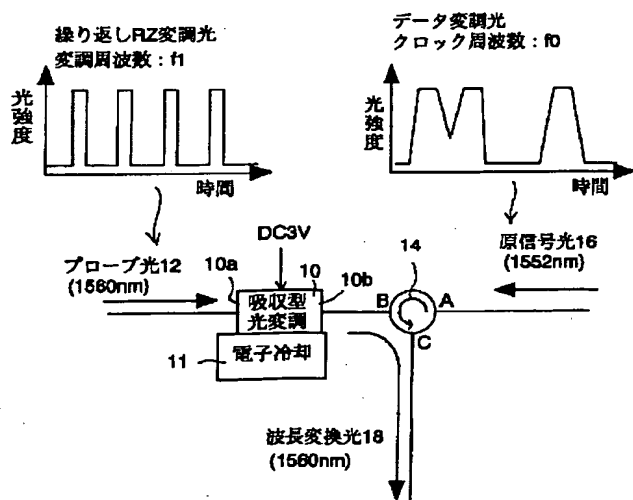
(1) 原信号光16



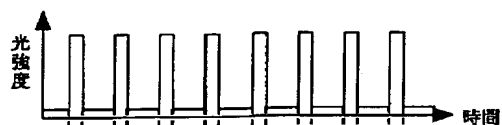
(2) 波長変換光18



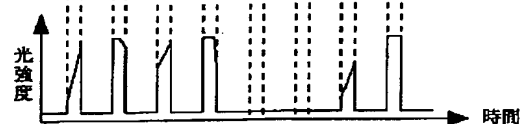
[Drawing 5]



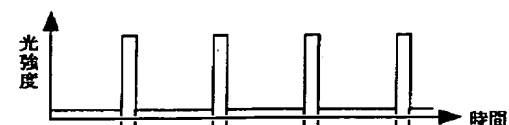
[Drawing 7]

(1)プローブ光12 (繰り返し周波数 f_1)(2)原信号光16 (クロック周波数 $f_0 < f_1$)

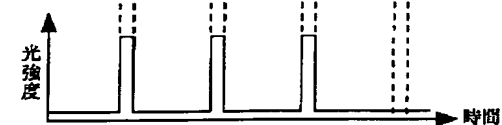
(3)波長変換光18



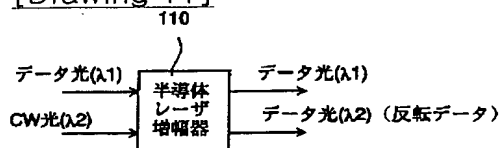
[Drawing 8]

(1)プローブ光12 (繰り返し周波数 f_1)(2)原信号光16 (クロック周波数 $f_0 = 2f_1$)

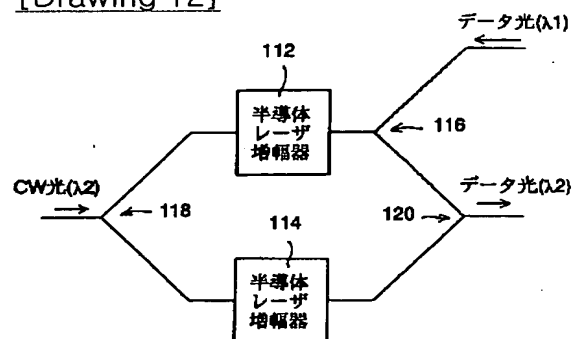
(3)波長変換光18



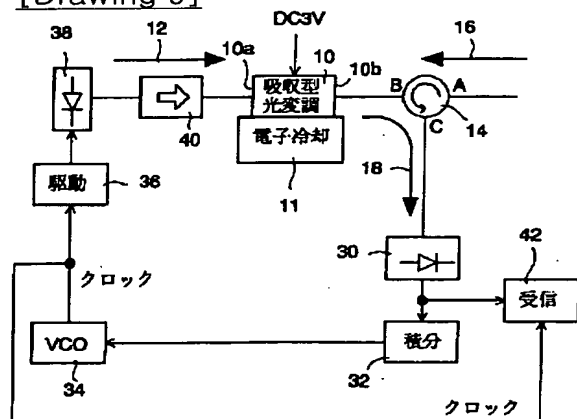
[Drawing 11]



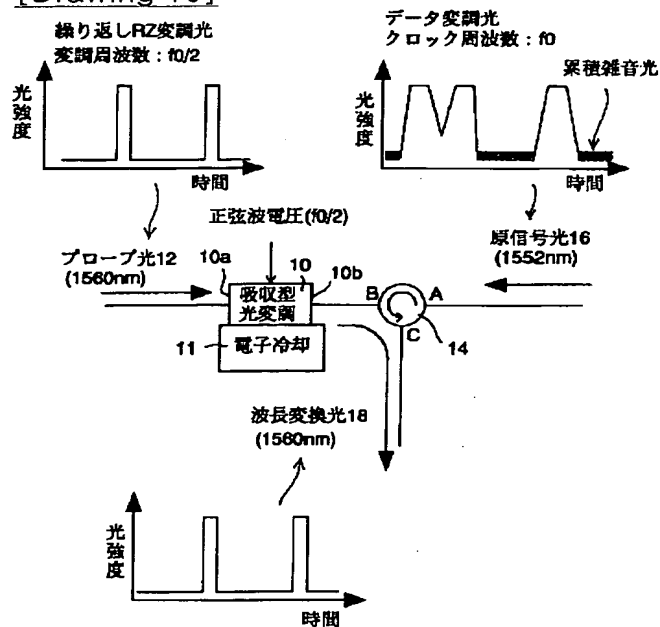
[Drawing 12]



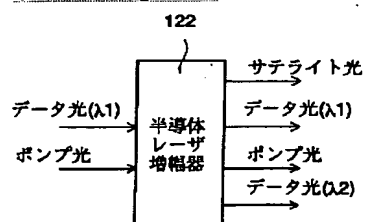
[Drawing 9]



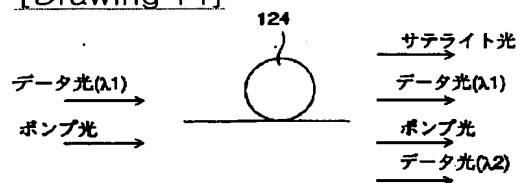
[Drawing 10]



[Drawing 13]



[Drawing 14]



<EMI ID=000016 HE=026 WI=061 LX=0720 LY=1450>

[Translation done.]